

⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑯ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 199 27 087 A 1

⑯ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
H 02 N 2/06  
H 02 J 7/00

⑯ Aktenzeichen: 199 27 087.2  
⑯ Anmeldetag: 15. 6. 1999  
⑯ Offenlegungstag: 21. 12. 2000

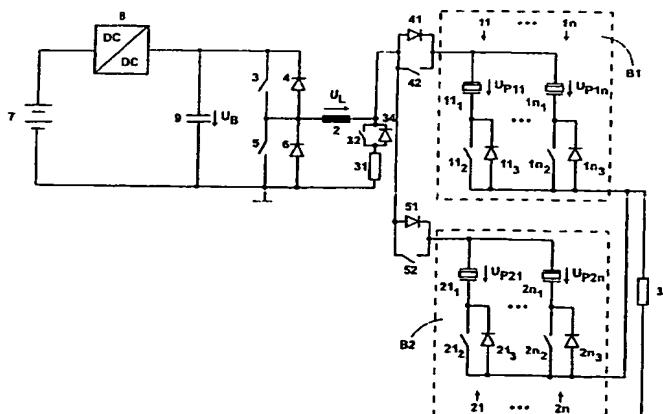
⑯ Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑯ Erfinder:  
Rueger, Johannes-Jörg, Dr., 71665 Vaihingen, DE;  
Reineke, Joerg, 70469 Stuttgart, DE; Hock,  
Alexander, 70435 Stuttgart, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑯ Vorrichtung zum Laden und Entladen mehrerer piezoelektrischer Elemente

⑯ Es werden ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Laden und Entladen mehrerer piezoelektrischer Elemente beschrieben. Die Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, daß die piezoelektrischen Elemente in jeweils ein oder mehrere piezoelektrische Elemente umfassende Gruppen unterteilt sind, welche unabhängig voneinander ladbar und entladbar sind; das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, daß vor dem Laden und Entladen festgelegt wird, welche von jeweils einen Teil der vorhandenen piezoelektrischen Elementen umfassenden Gruppen von piezoelektrischen Elementen vom Laden oder Entladen betroffen sein sollen. Dadurch können mehrere piezoelektrische Elemente mit minimalem Aufwand unabhängig voneinander geladen und entladen werden.



DE 199 27 087 A 1

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung gemäß den Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und ein Verfahren gemäß den Oberbegriff des Patentanspruchs 7, d. h. ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Laden und Entladen mehrerer piezoelektrischer Elemente.

Bei den vorliegend näher betrachteten piezoelektrischen Elementen handelt es sich insbesondere, aber nicht ausschließlich um als Aktoren bzw. Stellglieder verwendete piezoelektrische Elemente. Piezoelektrische Elemente lassen sich für derartige Zwecke einsetzen, weil sie bekanntermaßen die Eigenschaft aufweisen, sich in Abhängigkeit von einer an sie angelegten oder einer sich an ihnen einstellenden Spannung zusammenzuziehen oder auszudehnen.

Die praktische Realisierung von Stellgliedern durch piezoelektrische Elemente erweist sich insbesondere dann von Vorteil, wenn das betreffende Stellglied schnelle und/oder häufige Bewegungen auszuführen hat.

Der Einsatz von piezoelektrischen Elementen als Stellglied erweist sich unter anderem bei Kraftstoff-Einspritzdüsen für Brennkraftmaschinen als vorteilhaft. Zur Einsetzbarkeit von piezoelektrischen Elementen in Kraftstoff-Einspritzdüsen wird beispielsweise auf die EP 0 371 469 B1 und die EP 0 379 182 B1 verwiesen.

Piezoelektrische Elemente sind kapazitive Elemente, welche sich, wie vorstehend bereits angedeutet wurde, entsprechend dem jeweiligen Ladungszustand bzw. der sich daran einstellenden oder angelegten Spannung zusammenziehen und ausdehnen. Das Laden und Entladen eines piezoelektrischen Elements kann beispielsweise durch die in Fig. 5 gezeigte Anordnung erfolgen.

Das piezoelektrische Element, das es im betrachteten Beispiel zu laden gilt, ist in der Fig. 5 mit dem Bezugszeichen 1 bezeichnet.

Wie aus der Fig. 5 ersichtlich ist, liegt der eine der Anschlüsse des piezoelektrischen Elements 1 dauerhaft auf Masse (ist mit einem ersten Pol einer Spannungsquelle verbunden), wohingegen der andere der Anschlüsse des piezoelektrischen Elements über eine Spule 2 und eine Parallelschaltung aus einem Ladeschalter 3 und einer Diode 4 mit dem zweiten Pol der Spannungsquelle und über die Spule 2 und eine Parallelschaltung aus einem Entladeschalter 5 und einer Diode 6 mit dem ersten Pol der Spannungsquelle verbunden ist.

Die Spannungsquelle wird durch ein kapazitive Eigenschaften aufweisendes Element, welches im betrachteten Beispiel ein (Puffer-)Kondensator 9 ist, gebildet. Der Kondensator 9 wird durch eine Batterie 7 (beispielsweise eine Kfz-Batterie) und einen dieser nachgeschalteten Gleichspannungswandler 8 geladen. Der Gleichspannungswandler 8 setzt die Batteriespannung (beispielsweise 12 V) in eine im wesentlichen beliebige andere Gleichspannung um und lädt den Kondensator 9 auf diese Spannung auf.

Das Laden und Entladen des piezoelektrischen Elements 1 erfolgt unter Durchführung eines Ladungstransports von einem kapazitive Eigenschaften aufweisenden Element (dem Kondensator 9) über ein induktive Eigenschaften aufweisendes Element, welches im betrachteten Beispiel die Spule 2 ist, zum piezoelektrischen Element oder umgekehrt.

Das Laden und das Entladen des piezoelektrischen Elements 1 erfolgen im betrachteten Beispiel getaktet. D. h., der Ladeschalter 3 und der Entladeschalter 5 werden während des Lade- bzw. Entladevorganges wiederholt geschlossen und geöffnet. Die sich dabei einstellenden Verhältnisse werden nachfolgend unter Bezugnahme auf die Fig. 6 bis 9 erläutert, von denen die Fig. 6 und 7 das Laden des piezoelektrischen Elements 1, und die Fig. 8 und 9 das Entladen

des piezoelektrischen Elements 1 veranschaulichen.

Der Ladeschalter 3 und der Entladeschalter 5 sind, wenn und solange kein Laden oder Entladen des piezoelektrischen Elements 1 erfolgt, geöffnet. In diesem Zustand befindet sich die in der Fig. 5 gezeigte Schaltung im stationären Zustand. D. h., das piezoelektrische Element 1 behält seinen Ladungszustand im wesentlichen unverändert bei, und es fließen keine Ströme.

Mit dem Beginn des Ladens des piezoelektrischen Elements 1 wird der Ladeschalter 3 wiederholt geschlossen und geöffnet; der Entladeschalter 5 bleibt hierbei geöffnet.

Beim Schließen des Ladeschalters 3 stellen sich die in der Fig. 6 gezeigten Verhältnisse ein. D. h., es wird ein aus einer Reihenschaltung aus dem piezoelektrischen Element 1, dem Kondensator 9 und der Spule 2 bestehender geschlossener Stromkreis gebildet, in welchem ein wie in der Fig. 6 durch Pfeile angedeuteter Strom  $i_{LE}(t)$  fließt. Dieser Stromfluß bewirkt, daß in der Spule 2 Energie gespeichert wird. Der Energiefluß in die Spule 2 wird dabei durch die positive Potentialdifferenz zwischen dem Kondensator 9 und dem piezoelektrischen Element 1 bewirkt.

Beim kurz (beispielsweise einige  $\mu$ s) nach dem Schließen des Ladeschalters 3 erfolgenden Öffnen desselben stellen sich die in der Fig. 7 gezeigten Verhältnisse ein. D. h., es wird ein aus einer Reihenschaltung aus dem piezoelektrischen Element 1, der Diode 6 und der Spule 2 bestehender geschlossener Stromkreis gebildet, in welchem ein wie in der Fig. 7 durch Pfeile angedeuteter Strom  $i_{LA}(t)$  fließt. Dieser Stromfluß bewirkt, daß in der Spule 2 gespeicherte Energie vollständig in das piezoelektrische Element 1 fließt. Entsprechend der Energiezufuhr zum piezoelektrischen Element erhöhen sich die an diesem einstellende Spannung und dessen äußere Abmessungen. Nach erfolgtem Energietransport von der Spule 2 zum piezoelektrischen Element 1 ist wieder der vorstehend bereits erwähnte stationäre Zustand der Schaltung nach Fig. 1 erreicht.

Dann oder auch schon vorher oder auch erst später (je nach dem gewünschten zeitlichen Verlauf des Ladevorgangs) wird der Ladeschalter 3 erneut geschlossen und wieder geöffnet, wobei sich die vorstehend beschriebenen Vorgänge wiederholen. Durch das erneute Schließen und Öffnen des Ladeschalters 3 nimmt die im piezoelektrischen Element 1 gespeicherte Energie zu (die im piezoelektrischen Element bereits gespeicherte Energie und die neu zugeführte Energie summieren sich), und dementsprechend nehmen die sich am piezoelektrischen Element einstellende Spannung und dessen äußere Abmessungen zu.

Wiederholt man das beschriebene Schließen und Öffnen des Ladeschalters 3 eine Vielzahl von Malen, so steigen die sich am piezoelektrischen Element einstellende Spannung und die Ausdehnung des piezoelektrischen Elements stufenweise an.

Wurde der Ladeschalter 3 eine vorbestimmte Anzahl von Malen geschlossen und geöffnet und/oder hat das piezoelektrische Element 1 den gewünschten Ladezustand erreicht, so wird das Laden des piezoelektrischen Elements durch Öffnen des Ladeschalters 3 beendet.

Soll das piezoelektrische Element 1 wieder entladen werden, so wird dies durch ein wiederholtes Schließen und Öffnen des Entladeschalters 5 bewerkstelligt; der Ladeschalter 3 bleibt hierbei geöffnet.

Beim Schließen des Entladeschalters 5 stellen sich die in der Fig. 8 gezeigten Verhältnisse ein. D. h., es wird ein aus einer Reihenschaltung aus dem piezoelektrischen Element 1 und der Spule 2 bestehender geschlossener Stromkreis gebildet, in welchem ein wie in der Fig. 8 durch Pfeile angedeuteter Strom  $i_{EE}(t)$  fließt. Dieser Stromfluß bewirkt, daß die im piezoelektrischen Element gespeicherte Energie (ein

Teil derselben) in die Spule 2 transportiert wird. Entsprechend dem Energietransfer vom piezoelektrischen Element 1 zur Spule 2 nehmen die sich am piezoelektrischen Element einstellende Spannung und dessen äußere Abmessungen ab.

Beim kurz (beispielsweise einige  $\mu$ s) nach dem Schließen des Entladeschalters 5 erfolgenden Öffnen desselben stellen sich die in der Fig. 9 gezeigten Verhältnisse ein. D. h., es wird ein aus einer Reihenschaltung aus dem piezoelektrischen Element 1, dem Kondensator 9, der Diode 4 und der Spule 2 bestehender geschlossener Stromkreis gebildet, in welchem ein wie in der Fig. 9 durch Pfeile angedeuteter Strom  $i_{EA}(t)$  fließt. Dieser Stromfluß bewirkt, daß in der Spule 2 gespeicherte Energie vollständig in den Kondensator 9 zurückgespeist wird. Nach erfolgtem Energietransport von der Spule 2 zum Kondensator 9 ist wieder der vorstehend bereits erwähnte stationäre Zustand der Schaltung nach Fig. 1 erreicht.

Dann oder auch schon vorher oder erst später (je nach dem gewünschten zeitlichen Verlauf des Entladevorgangs wird der Entladeschalter 5 erneut geschlossen und wieder geöffnet, wobei sich die vorstehend beschriebenen Vorgänge wiederholen. Durch das erneute Schließen und Öffnen des Entladeschalters 5 nimmt die im piezoelektrischen Element 1 gespeicherte Energie weiter ab, und dementsprechend nehmen die sich am piezoelektrischen Element einstellende Spannung und dessen äußere Abmessungen ebenfalls ab.

Wiederholt man das beschriebene Schließen und Öffnen des Entladeschalters 5 eine Vielzahl von Malen, so nehmen die sich am piezoelektrischen Element einstellende Spannung und die Ausdehnung des piezoelektrischen Elements stufenweise ab.

Wurde der Entladeschalter 5 eine vorbestimmte Anzahl von Malen geschlossen und geöffnet und/oder hat das piezoelektrische Element den gewünschten Entladezustand erreicht, so wird das Entladen des piezoelektrischen Elements durch Öffnlassen des Entladeschalters 5 beendet.

Auf die beschriebene Art und Weise können anstelle von nur einem piezoelektrischen Element auch eine Vielzahl von piezoelektrischen Elementen geladen und entladen werden.

Eine Schaltung, welche dies ermöglicht, ist in Fig. 10 dargestellt. Die Schaltung gemäß Fig. 10 ist eine Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Die in der Fig. 10 gezeigte Schaltung basiert auf der in der Fig. 5 gezeigten Schaltung; einander entsprechende Elemente sind mit den selben Bezugssymbolen bezeichnet.

Der Hauptunterschied zwischen der Schaltung gemäß Fig. 5 und der Schaltung gemäß Fig. 10 besteht darin, daß anstelle des piezoelektrischen Elements 1 gemäß Fig. 5 eine Parallelschaltung aus einer Vielzahl (n) von Piezozweigen 11, 12, ..., 1n vorgesehen ist, wobei jeder Piezozweig aus einer Reihenschaltung aus einem piezoelektrischen Element 11, 12, ..., 1n und einer Parallelschaltung aus einem Auswahlschalter 11<sub>2</sub>, 12<sub>2</sub>, ..., 1n<sub>2</sub> und einer Diode 11<sub>3</sub>, 12<sub>3</sub>, ..., 1n<sub>3</sub> besteht.

Weitere Unterschiede bestehen darin, daß die piezoelektrischen Elemente 11, 12, ..., 1n, genauer gesagt die diese enthaltenden Piezozweige 11, 12, ..., 1n nicht mehr direkt, sondern "nur" über einen Widerstand 33 mit Masse verbunden sind, und daß parallel zu dieser Anordnung eine Reihenschaltung aus einem Widerstand 31 und einer Parallelschaltung aus einem Stop-Schalter 32 und einer Diode 34 vorgesehen ist.

Der erste Widerstand 31, der Stop-Schalter 32, und die Diode 34 dienen dazu, die piezoelektrischen Elemente 11, 12, ..., 1n, vollständig zu entladen (falls diese durch das "normale" Entladen nicht vollständig entladen wurden). Der Stop-Schalter 32 wird vorzugsweise nach dem "normalen"

Entladen (dem getakteten Entladen über den Entladeschalter 5) geschlossen. Er schließt damit die piezoelektrischen Elemente 11, 12, ..., 1n, über die Widerstände 31 und 33 kurz und sorgt so für das Entfernen von eventuell in den piezoelektrischen Elementen 11, 12, ..., 1n, verbliebenen Restladungen.

Der zweite Widerstand 33 dient zur Messung der beim Laden und Entladen der piezoelektrischen Elemente fließenden Ströme.

Die Kenntnis dieser Ströme ermöglicht ein geregelter Laden und Entladen der piezoelektrischen Elemente; insbesondere kann durch ein von der Größe der Ströme abhängendes Schließen und Öffnen des Ladeschalters 3 und des Entladeschalters 5 erreicht werden, daß der Ladestrom und der Entladestrom auf vorbestimmte Mittelwerte eingestellt werden und/oder vorbestimmte Maximalwerte und/oder Minimalwerte nicht übersteigen bzw. unterschreiten.

Die Diode 34 verhindert das Auftreten negativer Spannungen an den piezoelektrischen Elementen, da diese hierdurch unter Umständen zerstört werden können.

Die Auswahlsschalter-Dioden-Paare in den einzelnen Piezozweigen, d. h. der Auswahlsschalter 11<sub>2</sub> und die Diode 11<sub>3</sub> im Piezozweig 11, der Auswahlsschalter 12<sub>2</sub> und die Diode 12<sub>3</sub> im Piezozweig 12, und der Auswahlsschalter 1n<sub>2</sub> und die Diode 1n<sub>3</sub> im Piezozweig 1n können durch elektronische Schalter mit parasitären Dioden wie beispielsweise MOS-FETs realisiert werden; die Dioden 11<sub>3</sub>, 12<sub>3</sub>, ..., 1n<sub>3</sub> sind bei Realisierung der Auswahlsschalter 11<sub>2</sub>, 12<sub>2</sub>, ..., 1n<sub>2</sub> durch MOS-FETs oder sonstige Schalter mit parasitären Dioden automatisch vorhanden.

Entsprechendes gilt auch für den Stop-Schalter 32 und die Diode 34.

Das Laden und Entladen der piezoelektrischen Elemente 11, 12, ..., 1n erfolgt dem Wesen nach wie das Laden und Entladen des piezoelektrischen Elements 1 gemäß Fig. 5. D. h., zum Laden wird der Ladeschalter 3 wiederholt geschlossen und geöffnet, und zum Entladen wird der Entladeschalter 5 wiederholt geschlossen und geöffnet.

Welches bzw. welche der piezoelektrischen Elemente 11, 12, ..., 1n beim wiederholten Schließen und Öffnen des Ladeschalters 3 geladen werden, wird durch die Auswahlsschalter 11<sub>2</sub>, 12<sub>2</sub>, ..., 1n<sub>2</sub> bestimmt; es werden jeweils all diejenigen piezoelektrischen Elemente 11, 12, ..., 1n geladen, deren Auswahlsschalter 11<sub>2</sub>, 12<sub>2</sub>, ..., 1n<sub>2</sub> während des wiederholten Schließens und Öffnens des Ladeschalters 3 geschlossen sind.

Die Auswahl der zu ladenden piezoelektrischen Elemente 11, 12, ..., 1n durch Schließen der zugeordneten Auswahlsschalter 11<sub>2</sub>, 12<sub>2</sub>, ..., 1n<sub>2</sub> und das Aufheben der Auswahl durch Öffnen der betreffenden Schalter wird in der Regel außerhalb des Ladevorganges erfolgen; in bestimmten Fällen, z. B. wenn mehrere der piezoelektrischen Elemente 11, 12, ..., 1n gleichzeitig unterschiedlich stark aufgeladen werden sollen, kann das Öffnen und Schließen der Auswahlsschalter 11<sub>2</sub>, 12<sub>2</sub>, ..., 1n<sub>2</sub> jedoch auch während des Ladevorganges erfolgen.

Die sich beim Laden der ausgewählten piezoelektrischen Elemente 11, 12, ..., 1n einstellenden Vorgänge sind im wesentlichen identisch mit den sich bei der Schaltung gemäß Fig. 5 einstellenden Vorgängen. Es haben auch die Fig. 6 und 7 und die darauf bezugnehmenden Erläuterungen Gültigkeit; einziger Unterschied ist, daß nicht das piezoelektrische Element 1, sondern eines oder mehrere der piezoelektrischen Elemente 11, 12, ..., 1n geladen werden.

Das Entladen der piezoelektrischen Elemente 11, 12, ..., 1n erfolgt unabhängig von der Stellung der zugeordneten Auswahlsschalter 11<sub>2</sub>, 12<sub>2</sub>, ..., 1n<sub>2</sub>, denn der die Entladung der piezoelektrischen Elemente bewirkende Entlade-

strom kann über die den jeweiligen piezoelektrischen Elementen zugeordneten Dioden  $11_3, 12_3, \dots, 1n_3$  fließen. Durch den Entladevorgang werden daher sämtliche vollständig oder teilweise geladenen piezoelektrischen Elemente  $11_1, 12_1, \dots, 1n_1$  entladen.

Die sich beim Entladen der piezoelektrischen Elemente  $11_1, 12_1, \dots, 1n_1$  einstellenden Vorgänge sind im wesentlichen identisch mit den sich bei der Schaltung gemäß Fig. 5 einstellenden Vorgängen. Es haben auch die Fig. 8 und 9 und die darauf bezugnehmenden Erläuterungen Gültigkeit; einziger Unterschied ist, daß nicht das piezoelektrische Element 1, sondern die piezoelektrischen Elemente  $11_1, 12_1, \dots, 1n_1$  entladen werden.

Das Laden und Entladen mehrerer piezoelektrischer Elemente durch eine einzige Lade- und/oder Entladevorrichtung erweist sich als vorteilhaft, weil sich dadurch der zum Laden und Entladen mehrerer piezoelektrischer Elemente treibende Aufwand möglichst gering halten läßt.

Mitunter besteht jedoch die Notwendigkeit, daß mehrere der vorhandenen piezoelektrischen Elemente unabhängig voneinander geladen und/oder entladen werden müssen. Bei Verwendung der piezoelektrischen Elemente als Aktoren in Kraftstoff-Einspritzdüsen ist dies beispielsweise der Fall, wenn während der Haupteinspritzung an einem ersten Zylinder gleichzeitig eine Voreinspritzung oder eine Nacheinspritzung an einem anderen Zylinder vorgenommen werden soll.

Dies ist insofern problematisch, weil sich die Haupteinspritzung und die Voreinspritzung bzw. die Nacheinspritzung, genauer gesagt das diese bewirkende Laden und Entladen der jeweiligen piezoelektrischen Elemente in der Regel nicht gegenseitig beeinflussen dürfen.

Ein gänzlich unabhängig voneinander erfolgendes Laden und Entladen mehrerer piezoelektrischer Elemente kann durch die Vorrichtung gemäß Fig. 10 nicht oder jedenfalls nicht unter allen Umständen gewährleistet werden. So ist es beispielsweise nicht möglich, ein bestimmtes piezoelektrisches Element ohne Beeinflussung der restlichen piezoelektrischen Elemente zu entladen. Die Folge hiervon ist, daß Haupteinspritzung, Voreinspritzung und/oder Nacheinspritzung bei Verwendung der Vorrichtung gemäß Fig. 10 nicht gänzlich unabhängig voneinander ausführbar sind, wodurch der betreffende Motor nicht unter allen Umständen optimal betrieben werden kann.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zu grunde, die Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und das Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 7 derart weiterzubilden, daß mehrere piezoelektrische Elemente mit minimalem Aufwand unabhängig voneinander lad- und entladbar sind.

Diese Aufgabe wird erfundungsgemäß durch die im kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 (Vorrichtung) bzw. die im kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 7 (Verfahren) beanspruchten Merkmale gelöst.

Demnach ist vorgesehen,

- daß die piezoelektrischen Elemente in jeweils ein oder mehrere piezoelektrische Elemente umfassende Gruppen unterteilt sind, welche unabhängig voneinander ladbar und entladbar sind (kennzeichnender Teil des Patentanspruchs 1), bzw.
- daß vor dem Laden und Entladen festgelegt wird, welche von jeweils einen Teil der vorhandenen piezoelektrischen Elemente umfassenden Gruppen von piezoelektrischen Elementen vom Laden oder Entladen betroffen sein sollen (kennzeichnender Teil des Patentanspruchs 7).

Bei geeigneter Anzahl und Zusammensetzung der Gruppen von piezoelektrischen Elementen können sämtliche piezoelektrischen Elemente durch eine einzige Lade- und Entladevorrichtung unabhängig voneinander ge- und entladen werden.

Eine solche Vorgehensweise erweist sich selbst bei sehr vielen piezoelektrischen Elementen als unkritisch. Zwar können insbesondere dann, wenn verschiedene piezoelektrische Elemente sehr kurz hintereinander ge- und/oder entladen werden müssen, Probleme auftreten. Solche Überschneidungen sind jedoch wegen der äußerst kurzen Laden- und Entladezeiten von piezoelektrischen Elementen relativ unwahrscheinlich und lassen sich bei Bedarf durch ein geringfügiges Verschieben der Lade- und/oder Entladezeitpunkte relativ problemlos handhaben.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind den Unteransprüchen, der folgenden Beschreibung und den Figuren entnehmbar.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Figuren näher erläutert. Es zeigen

Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel der nachfolgend näher beschriebenen Anordnung zum Laden und Entladen mehrerer piezoelektrischer Elemente,

Fig. 2 ein zweites Ausführungsbeispiel der nachfolgend näher beschriebenen Anordnung zum Laden und Entladen mehrerer piezoelektrischer Elemente,

Fig. 3 ein drittes Ausführungsbeispiel der nachfolgend näher beschriebenen Anordnung zum Laden und Entladen mehrerer piezoelektrischer Elemente,

Fig. 4 eine Darstellung zur Veranschaulichung eines ineinander verschachtelten Ladens und Entladens von piezoelektrischen Elementen aus verschiedenen Gruppen von piezoelektrischen Elementen,

Fig. 5 eine herkömmliche Anordnung zum Laden und Entladen eines piezoelektrischen Elements,

Fig. 6 eine Darstellung zur Erläuterung der sich während einer ersten Ladephase (Ladeschalter 3 geschlossen) in der Schaltung nach Fig. 5 einstellenden Verhältnisse,

Fig. 7 eine Darstellung zur Erläuterung der sich während einer zweiten Ladephase (Ladeschalter 3 wieder geöffnet) in der Schaltung nach Fig. 5 einstellenden Verhältnisse,

Fig. 8 eine Darstellung zur Erläuterung der sich während einer ersten Entladephase (Entladeschalter 5 geschlossen) in der Schaltung nach Fig. 5 einstellenden Verhältnisse,

Fig. 9 eine Darstellung zur Erläuterung der sich während einer zweiten Entladephase (Entladeschalter 5 wieder geöffnet) in der Schaltung nach Fig. 5 einstellenden Verhältnisse,

Fig. 10 eine herkömmliche Anordnung zum gleichzeitigen oder aufeinanderfolgenden Laden und Entladen mehrerer piezoelektrischer Elemente.

Die piezoelektrischen Elemente, deren Laden und Entladen im folgenden näher beschrieben wird, sind im betrachteten Beispiel Stellglieder in Kraftstoff-Einspritzdüsen (insbesondere in sogenannten Common Rail Injektoren) von Brennkraftmaschinen. Auf einen derartigen Einsatz der piezoelektrischen Elemente besteht jedoch keinerlei Einschränkung; die piezoelektrischen Elemente können grundsätzlich in beliebigen Vorrichtungen für beliebige Zwecke eingesetzt werden.

Bei den nachfolgend beschriebenen Verfahren und Vorrichtungen zum Laden von piezoelektrischen Elementen erfolgt das Laden und Entladen dem Wesen nach wie bei der Anordnung gemäß Fig. 10.

Der Aufbau der nachfolgend näher beschriebenen (in den Fig. 1 bis 3 gezeigten) Anordnungen stimmt weitgehend mit dem Aufbau der Anordnung gemäß Fig. 10 überein. Mit den gleichen Bezeichnungen bezeichnete Elemente entsprechen

einander und werden zur Vermeidung von Wiederholungen nicht nochmals beschrieben; es wird auf die sich auf die Fig. 5 bis 10 beziehenden Ausführungen verwiesen.

Im Gegensatz zu der in der Fig. 10 gezeigten Anordnung sind die mehreren piezoelektrischen Elemente jedoch auf jeweils ein oder mehrere piezoelektrische Elemente umfassende Gruppen (Bänke) verteilt, welche unabhängig voneinander ladbar und entladbar sind.

In den betrachteten (in den Fig. 1 bis 3 gezeigten) Ausführungsbeispielen der neuartigen Anordnung sind die vorhandenen piezoelektrischen Elemente auf zwei Gruppen von piezoelektrischen Elementen, nämlich eine erste Gruppe B1 und eine zweite Gruppe B2 verteilt. Es sei bereits an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß die vorhandenen piezoelektrischen Elemente auch auf beliebig viel mehr Gruppen aufgeteilt sein können.

Die erste Gruppe B1 umfaßt piezoelektrische Elemente 1<sub>1</sub> bis 1<sub>n1</sub>, und die zweite Gruppe B2 umfaßt piezoelektrische Elemente 2<sub>1</sub> bis 2<sub>n2</sub>. Die Anzahl der piezoelektrischen Elemente, die in den einzelnen Gruppen enthalten sind, können unabhängig voneinander frei gewählt werden.

Die piezoelektrischen Elemente sind Bestandteil von parallel verschalteten Piezozweigen 11 bis 1n (Gruppe B1) und 21 bis 2n (Gruppe B2), wobei die jeweiligen Piezozweige wie die Piezozweige 11, 12, ... 1n in der Anordnung gemäß Fig. 10 aufgebaut sind.

Die Gruppen B1 und B2 sind Bestandteil von parallel zueinander verschalteten Schaltungsteilen, und, wie vorstehend bereits erwähnt wurde, unabhängig voneinander ladbar und entladbar, wobei das Laden und Entladen sämtlicher Gruppen durch eine einzige (für alle Gruppen und deren piezoelektrischen Elementen gemeinsame) Lade- und Entladevorrichtung erfolgt.

Die gemeinsame Lade- und Entladevorrichtung ist im betrachteten Beispiel identisch mit der Lade- und Entladevorrichtung gemäß Fig. 10, besteht also aus der Batterie 7, dem Gleichspannungswandler 8, dem Kondensator 9, dem Ladeschalter 3, der Diode 4, dem Entladeschalter 5, der Diode 6, und der Spule 2. Es sei bereits an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß hinsichtlich des Aufbaus der gemeinsamen Lade- und Entladevorrichtung keine Einschränkungen bestehen. Es kann sich auch um eine beliebig anders aufgebaute und/oder arbeitende Lade- und Entladevorrichtung handeln.

Welche der Gruppen von piezoelektrischen Elementen durch die gemeinsame Lade- und Entladevorrichtung jeweils geladen bzw. entladen wird, ist durch Gruppenauswahlschalter einstellbar. Bei den betrachteten Beispielen ist jeder Gruppe von piezoelektrischen Elementen ein solcher Gruppenauswahlschalter zugeordnet.

Bei dem in Fig. 1 gezeigten ersten Ausführungsbeispiel der vorliegend näher betrachteten Anordnung sind diese Gruppenauswahlschalter mit den Bezugszeichen 42 (für die erste Gruppe B1) und 52 (für die zweite Gruppe B2) bezeichnet und zwischen der Spule 2 und den jeweiligen Gruppen B1 und B2 (den spulenseitigen Anschlüssen derselben) angeordnet.

Parallel zu den Gruppenauswahlschaltern sind Dioden 41 bzw. 51 vorgesehen. Diese Dioden 41 und 51 können, falls die Gruppenauswahlschalter als MOS-FETs realisiert werden, durch die parasitären Dioden derselben gebildet werden.

Die masseseitigen Anschlüsse der Gruppen B1 und B2 sind über den (dem Widerstand 33 gemäß Fig. 10 entsprechenden) Widerstand 33 mit Masse verbunden.

Auch der erste Widerstand 31, der Stop-Schalter 32 und die Diode 34 gemäß Fig. 10 sind in der Anordnung gemäß Fig. 1 enthalten; diese sind nunmehr jedoch zwischen dem

gruppen schalterseitigen Anschluß der Spule 2 und Masse angeordnet.

Zwar sind der erste Widerstand 31, der Stop-Schalter 32, der zweite Widerstand 33, und die Diode 34 etwas anders angeordnet als die mit diesen Bezugszeichen bezeichneten Elemente in Fig. 10, doch sind deren Funktion und Wirkungsweise identisch. Durch die veränderte Anordnung von erstem Widerstand 31, Stop-Schalter 32, zweitem Widerstand 33, und Diode 34 können diese Elemente als für alle Gruppen gemeinsame Elemente benutzt werden.

Das Laden der Gruppen B1 bzw. B2, genauer gesagt der in diesen enthaltenen piezoelektrischen Elementen erfolgt auf die unter Bezugnahme auf die Fig. 5 bis 10 beschriebene Art und Weise und ist unabhängig von der Stellung der Gruppenauswahlschalter 42 und 52.

Das Entladen der piezoelektrischen Elemente erfolgt ebenfalls auf die unter Bezugnahme auf die Fig. 5 bis 10 beschriebene Art und Weise; zum Entladen der piezoelektrischen Elemente einer jeweiligen Gruppe muß jedoch der zugeordnete Gruppenauswahlschalter 42 und 52 geschlossen sein.

Bei geeigneter Anzahl von Gruppen und geeigneter Verteilung der vorhandenen piezoelektrischen Elemente auf die Gruppen können die piezoelektrischen Elemente unabhängig voneinander geladen und entladen werden.

Dies soll nachfolgend unter Bezugnahme auf Fig. 4 anhand eines einfachen Beispiels erläutert werden.

Das Beispiel betrifft den Fall, daß während der Durchführung einer Haupteinspritzung an einem ersten Zylinder eine Vor- oder Nacheinspritzung an einem zweiten Zylinder durchgeführt werden soll, wobei die Haupteinspritzung zwischen t<sub>1</sub> = 100 µs und t<sub>2</sub> = 500 µs, und die Vor- oder Nacheinspritzung bei t<sub>3</sub> = 300 µs erfolgen soll.

Dies läßt sich, wie nachfolgend noch näher erläutert wird, problemlos bewerkstelligen, wenn das in der Kraftstoff-Einspritzdüse des ersten Zylinders enthaltene piezoelektrische Element in der ersten Gruppe B1 von piezoelektrischen Elementen enthalten ist, und wenn das in der Kraftstoff-Einspritzdüse des zweiten Zylinders enthaltene piezoelektrische Element in der zweiten Gruppe B2 von piezoelektrischen Elementen enthalten ist.

Es sei angenommen, daß das in der Kraftstoff-Einspritzdüse des ersten Zylinders enthaltene piezoelektrische Element das piezoelektrische Element 11<sub>1</sub> ist, und daß das in der Kraftstoff-Einspritzdüse des zweiten Zylinders enthaltene piezoelektrische Element das piezoelektrische Element 21<sub>1</sub> ist.

Die Fig. 4, unter Bezugnahme auf welche das Beispiel nun erläutert werden soll, zeigt in der oberen Hälfte Ansteuerungssignale zur Ansteuerung der Gruppenauswahlschalter 42 und 52, und in der unteren Hälfte die sich an den piezoelektrischen Elementen 11<sub>1</sub> und 21<sub>1</sub> einstellenden Spannungsverläufe.

Wie aus der Fig. 4 ersichtlich ist, sind die piezoelektrischen Elemente 11<sub>1</sub> und 21<sub>1</sub> zunächst entladen, und die Gruppenauswahlschalter 42 und 52 geöffnet. Zum Zeitpunkt t = ca. 20 µs beginnt das Laden des piezoelektrischen Elements 11<sub>1</sub>. Zu diesem Zeitpunkt wird das betreffende piezoelektrische Element durch Schließen des Auswahl schalters 11<sub>2</sub> zum Laden ausgewählt, und gleichzeitig wird damit begonnen, den Ladeschalter 3 wiederholt zu schließen und zu öffnen, wodurch das piezoelektrische Element 11<sub>1</sub> wie in der unteren Hälfte der Fig. 4 veranschaulicht geladen wird. Zum vorstehend bereits erwähnten Zeitpunkt t<sub>1</sub> = 100 µs hat das piezoelektrische Element 11<sub>1</sub> den zur Kraftstoffeinspritzung erforderlichen Ladezustand erreicht, und das Laden kann beendet werden. Hierzu werden das wiederholte Schließen und Öffnen des Ladeschalters 3 beendet so

wie der Auswahlschalter  $11_2$  geöffnet. Die Anordnung befindet sich danach im stationären Zustand. D. h., es erfolgt weder ein Laden noch ein Entladen von piezoelektrischen Elementen, und die piezoelektrischen Elemente behalten ihren Zustand im wesentlichen unverändert bei. Zum Zeitpunkt  $t = \text{ca. } 200 \mu\text{s}$  beginnt das Laden des piezoelektrischen Elements  $21_1$ . Zu diesem Zeitpunkt wird das betreffende piezoelektrische Element durch Schließen des Auswahlschalters  $21_2$  zum Laden ausgewählt, und gleichzeitig wird damit begonnen, den Ladeschalter 3 wiederholt zu schließen und zu öffnen, wodurch das piezoelektrische Element  $21_1$ , wie in der unteren Hälfte der Fig. 4 veranschaulicht geladen wird. Zum vorstehend bereits erwähnten Zeitpunkt  $t = \text{ca. } 300 \mu\text{s}$  hat das piezoelektrische Element  $21_1$  den zur Kraftstoffeinspritzung erforderlichen Ladezustand erreicht, und das Laden kann beendet werden. Hierzu werden das wiederholte Schließen und Öffnen des Ladeschalters 3 beendet sowie der Auswahlschalter  $21_2$  geöffnet. Die Anordnung befindet sich danach wieder im stationären Zustand. D. h., es erfolgt weder ein Laden noch ein Entladen von piezoelektrischen Elementen, und die piezoelektrischen Elemente behalten ihren Zustand im wesentlichen unverändert bei. Einige  $\mu\text{s}$  später kann die durch das Laden des piezoelektrischen Elements  $21_1$  begonnene Vor- oder Nacheinspritzung beendet, das piezoelektrische Element  $21_1$  also wieder entladen werden. Hierzu wird der zweite Gruppenauswahlschalter 52 geschlossen, und gleichzeitig wird damit begonnen, den Entladeschalter 5 wiederholt zu schließen und zu öffnen, wodurch das piezoelektrische Element  $21_1$ , wie in der unteren Hälfte der Fig. 4 veranschaulicht entladen wird. Zum Zeitpunkt  $t = \text{ca. } 400 \mu\text{s}$  ist das piezoelektrische Element  $21_1$  entladen, und das Entladen kann beendet werden. Hierzu werden das wiederholte Schließen und Öffnen des Entladeschalters 5 beendet sowie der Gruppenauswahlschalter 52 geöffnet. Die Anordnung befindet sich danach wieder im stationären Zustand. D. h., es erfolgt weder ein Laden noch ein Entladen von piezoelektrischen Elementen, und die piezoelektrischen Elemente behalten ihren Zustand im wesentlichen unverändert bei. Weil der erste Gruppenauswahlschalter 42 während des Entladens des piezoelektrischen Elements  $21_1$  geöffnet war, hat das Entladen des piezoelektrischen Elements  $21_1$  keinen Einfluß auf das piezoelektrische Element  $11_1$ . Dieses bleibt geladen, so daß die dadurch bewirkte Haupeinspritzung weiter andauert. Zum vorstehend bereits erwähnten Zeitpunkt  $t = \text{ca. } 500 \mu\text{s}$  soll die Haupeinspritzung beendet, das piezoelektrische Element  $11_1$  also wieder entladen werden. Hierzu wird der erste Gruppenauswahlschalter 42 geschlossen, und gleichzeitig wird damit begonnen, den Entladeschalter 5 wiederholt zu schließen und zu öffnen, wodurch das piezoelektrische Element  $11_1$ , wie in der unteren Hälfte der Fig. 4 veranschaulicht entladen wird. Zum Zeitpunkt  $t = \text{ca. } 600 \mu\text{s}$  ist das piezoelektrische Element  $11_1$  entladen, und das Entladen kann beendet werden. Hierzu werden das wiederholte Schließen und Öffnen des Entladeschalters 5 beendet sowie der Gruppenauswahlschalter 42 geöffnet. Die Anordnung befindet sich danach wieder im stationären Zustand. D. h., es erfolgt weder ein Laden noch ein Entladen von piezoelektrischen Elementen, und die piezoelektrischen Elemente behalten ihren Zustand im wesentlichen unverändert bei.

Die vorstehenden Erläuterungen machen deutlich, daß die vorhandenen piezoelektrischen Elemente durch eine geeignete Aufteilung auf mehrere Gruppen von piezoelektrischen Elementen unabhängig voneinander geladen und entladen werden können.

Zwar ist es nicht gänzlich ausgeschlossen, daß für einen optimalen Betrieb der die mehreren piezoelektrischen Elemente enthaltenen Vorrichtung sich zeitlich überschnei-

dende Lade- und/oder Entladevorgänge erforderlich wären. Solche Überschneidungen sind jedoch wegen der äußerst kurzen Lade- und Entladezeiten von piezoelektrischen Elementen relativ unwahrscheinlich und lassen sich bei Bedarf durch ein geringfügiges Verschieben eines oder mehrerer Lade- und/oder Entladezeitpunkte relativ problemlos handhaben.

Der Aufbau einer Anordnung zum wie beschrieben oder ähnlich erfolgenden Laden und Entladen mehrerer piezoelektrischer Elemente ist jedoch nicht auf den in der Fig. 1 gezeigten Aufbau beschränkt. Es dürfte einleuchten, daß hierzu eine große Anzahl von mehr oder weniger gleichwertigen Alternativen existiert. Zwei dieser möglichen Alternativen werden nachfolgend unter Bezugnahme auf die Fig. 2 und 3 beschrieben.

Bei der Anordnung gemäß der Fig. 2 sind die mit den Bezugssymbolen  $61$  (für die erste Gruppe B1) und  $71$  (für die zweite Gruppe B2) bezeichneten Gruppenauswahlschalter zwischen den jeweiligen Gruppen B1 bzw. B2 und dem Widerstand  $33$  vorgesehen. Genauer gesagt sind

- die masseseitigen Verbindungen zwischen den Auswahlschaltern  $11_2 \dots 1n_2$  bzw.  $21_2 \dots 2n_2$  und den Dioden  $11_3 \dots 1n_3$  bzw.  $21_3 \dots 2n_3$  der jeweiligen Piezozweige  $11 \dots 1n$  bzw.  $21 \dots 2n$  aufgetrennt,
- die Auswahlschalter  $11_2 \dots 1n_2$  bzw.  $21_2 \dots 2n_2$  einer jeweiligen Gruppe aber nach wie vor masseseitig miteinander und über den Widerstand  $33$  mit Masse verbunden, und
- die Dioden  $11_3 \dots 1n_3$  bzw.  $21_3 \dots 2n_3$  einer jeweiligen Gruppe ebenfalls nach wie vor miteinander verbunden und über die erwähnten Gruppenauswahlschalter  $61$  bzw.  $71$  und den Widerstand  $33$  mit Masse verbunden.

Ansonsten herrscht Übereinstimmung mit der Anordnung gemäß Fig. 1.

Die Anordnung gemäß Fig. 2 hat die selbe Funktion und Wirkungsweise wie die Anordnung gemäß Fig. 1. Sie (die Anordnung gemäß Fig. 2) läßt sich allerdings mit geringerem Aufwand und variantenreicher betreiben. Mit geringerem Aufwand, weil die Gruppenauswahlschalter  $61$  und  $71$  nur geschlossen werden müssen, wenn sämtliche piezoelektrischen Elemente einer jeweiligen Gruppe gleichzeitig entladen werden sollen. Variabler, weil nicht jeweils alle piezoelektrischen Elemente einer Gruppe entladen werden müssen, sondern alternativ auch einzelne piezoelektrische Elemente aus einer oder mehreren Gruppen entladen werden können (durch Offenlassen des zugeordneten Gruppenauswahlschalters  $61$  bzw.  $71$  und Schließen der den zu löschenen piezoelektrischen Elementen zugeordneten Auswahlschalter  $11_2 \dots 1n_2$  und  $21_2 \dots 2n_2$ ).

Die Anordnung gemäß Fig. 3 unterscheidet sich von der Anordnung gemäß Fig. 1 dadurch, daß die in der Fig. 1 mit den Bezugssymbolen  $41$ ,  $42$  bzw.  $51$ ,  $52$  und in der Fig. 3 mit den Bezugssymbolen  $81$ ,  $82$  bzw.  $91$ ,  $92$  bezeichneten Gruppenauswahlschalter/Dioden-Paare zwischen dem masseseitigen Anschluß der jeweiligen Gruppen B1 bzw. B2 und dem Widerstand  $33$  vorgesehen sind.

Der Aufbau hat gegenüber der Anordnung gemäß Fig. 2 den Vorteil, daß sämtliche Schalter der Anordnung durch Schalter mit integrierter antiparalleler Diode, also beispielsweise MOS-FETs mit parasitären Dioden realisiert werden können; der dadurch mögliche Verzicht auf das Vorsehen von diskreten Dioden spart Bauraum und Kosten.

Durch ein wie beschrieben erfolgendes Laden und Entladen lassen sich mehrere piezoelektrische Elemente mit minimalem Aufwand unabhängig voneinander laden und ent-

laden.

kommen würde.

## Patentansprüche

## Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

1. Vorrichtung zum Laden und Entladen mehrerer piezoelektrischer Elemente ( $11_1 \dots 1n_1, 21_1 \dots 2n_1$ ), dadurch gekennzeichnet, daß die piezoelektrischen Elemente in jeweils ein oder mehrere piezoelektrische Elemente umfassende Gruppen (B1, B2) unterteilt sind, welche unabhängig voneinander ladbar und entladbar sind. 5
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Gruppen (B1, B2) von piezoelektrischen Elementen Bestandteil von parallel zueinander verschalteten Schaltungsteilen sind. 15
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß den Gruppen (B1, B2) von piezoelektrischen Elementen jeweils ein Gruppenauswahlschalter (42, 52; 61, 71; 82, 92) zugeordnet ist, über welchen auswählbar ist, welche Gruppe vom Laden 20 oder Entladen betroffen sein soll.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß diese eine gemeinsame Lade- und Entladevorrichtung (2 bis 8) zum Laden und Entladen der Gruppen (B1, B2) von piezoelektrischen Elementen ist. 25
5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die piezoelektrischen Elemente ( $11_1 \dots 1n_1, 21_1 \dots 2n_1$ ) der jeweiligen Gruppen (B1, B2) von piezoelektrischen Elementen 30 unabhängig voneinander einzeln ladbar oder entladbar sind.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die piezoelektrischen Elemente  $\dots 1n_1, 21_1 \dots 2n_1$  der jeweiligen Gruppen 35 (B1, B2) von piezoelektrischen Elementen nur gemeinsam entladbar sind.
7. Verfahren zum Laden und Entladen mehrerer piezoelektrischer Elemente ( $11_1 \dots 1n_1, 21_1 \dots 2n_1$ ), dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Laden und Entladen festgelegt wird, welche von jeweils einen Teil der vorhandenen piezoelektrischen Elemente umfassenden Gruppen (B1, B2) von piezoelektrischen Elementen 40 vom Laden oder Entladen betroffen sein sollen.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß beim Laden und Entladen nur einzelne oder mehrere piezoelektrische Elemente  $\dots 1n_1, 21_1 \dots 2n_1$  innerhalb der vom Laden oder Entladen betroffenen Gruppen (B1, B2) von piezoelektrischen Elementen geladen oder entladen werden. 45
9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß beim Entladen jeweils alle piezoelektrischen Elemente  $\dots 1n_1, 21_1 \dots 2n_1$  der vom Entladen betroffenen Gruppen (B1, B2) von piezoelektrischen Elementen entladen werden. 55
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß nur jeweils piezoelektrische Elemente ( $11_1 \dots 1n_1, 21_1 \dots 2n_1$ ) einer Gruppe von piezoelektrischen Elementen gleichzeitig geladen oder entladen werden. 60
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Laden oder Entladen einer Gruppe (B1, B2) von piezoelektrischen Elementen verschoben wird, wenn es zu zeitlichen Überschneidungen mit dem Laden oder Entladen einer anderen Gruppe (B1, B2) von piezoelektrischen Elementen 65

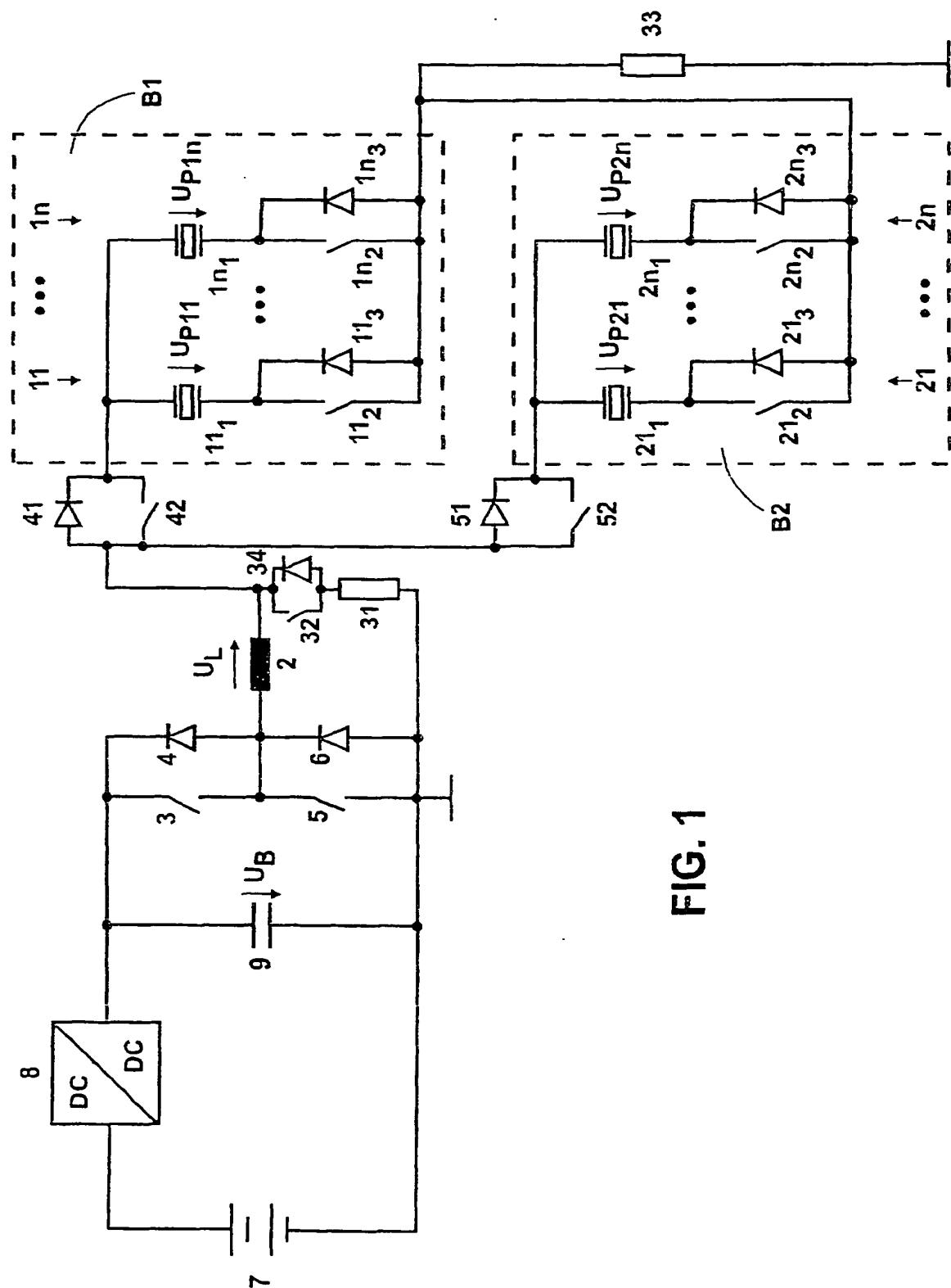


FIG. 1

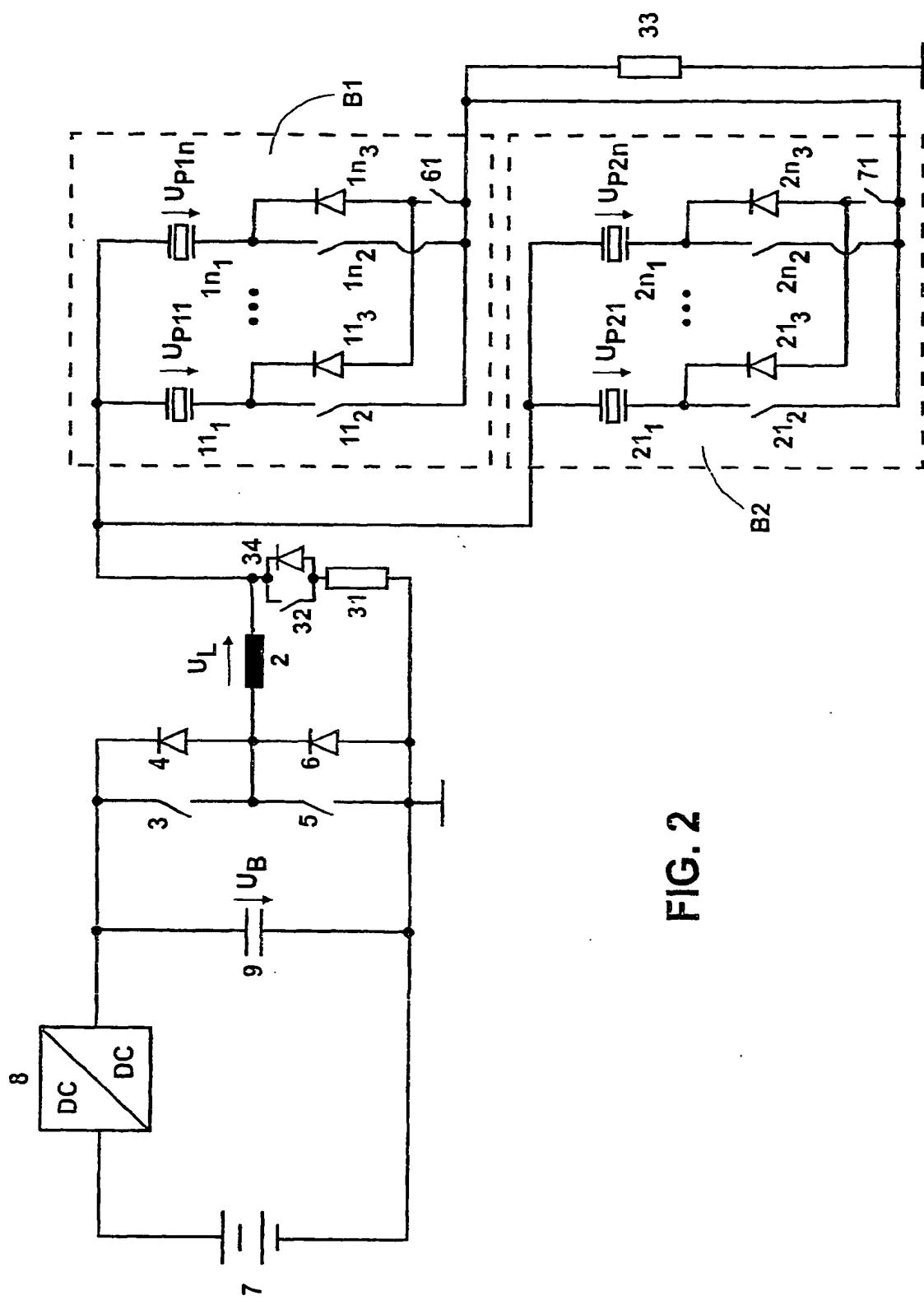


FIG. 2

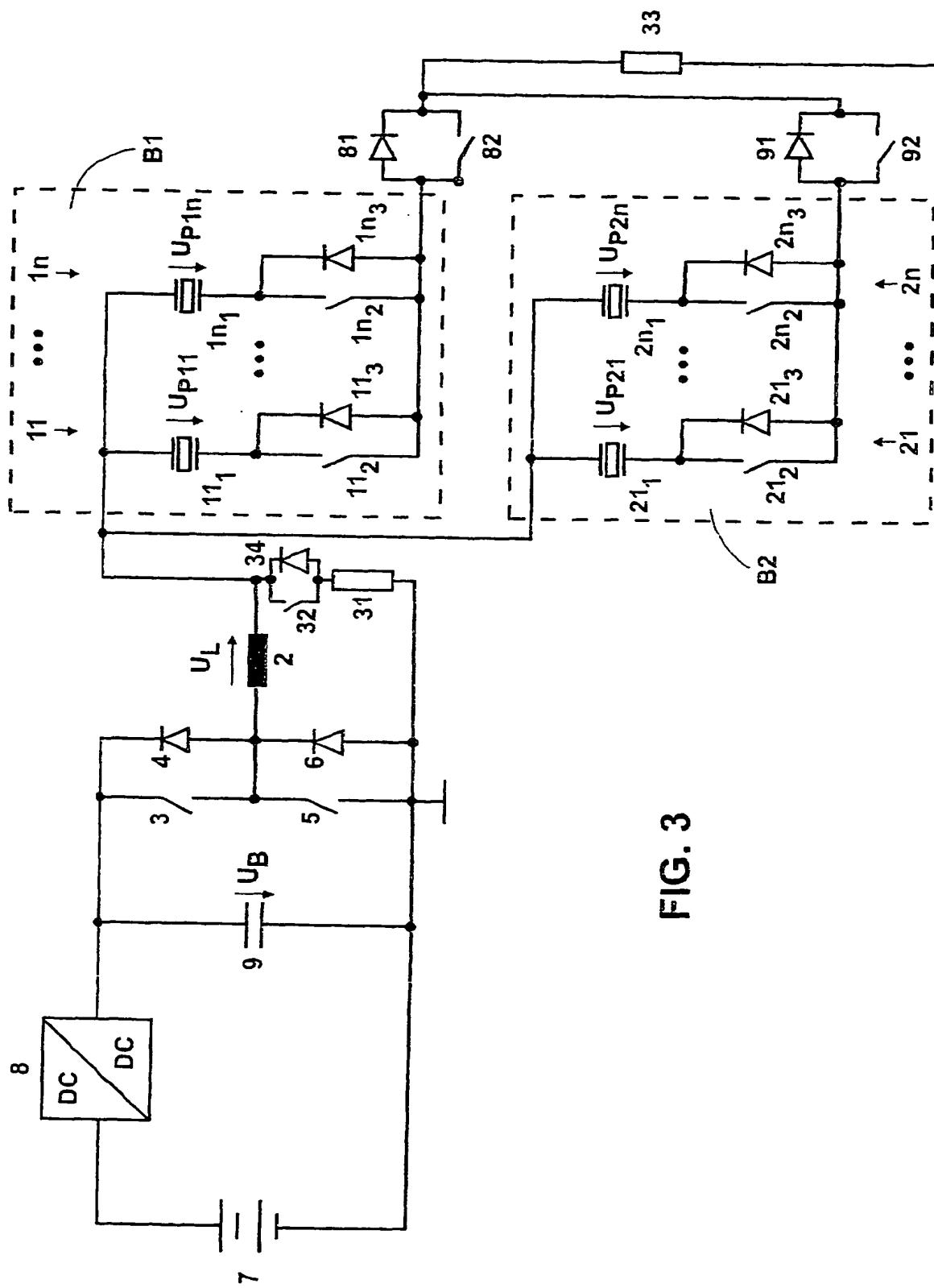
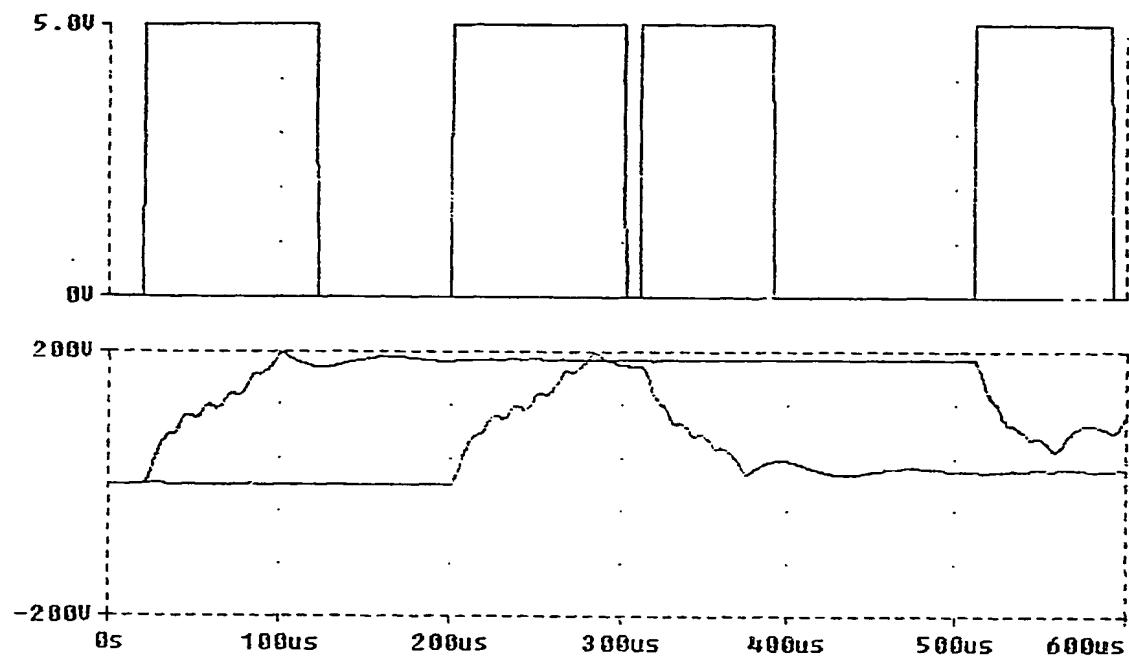


FIG. 3



**FIG. 4**

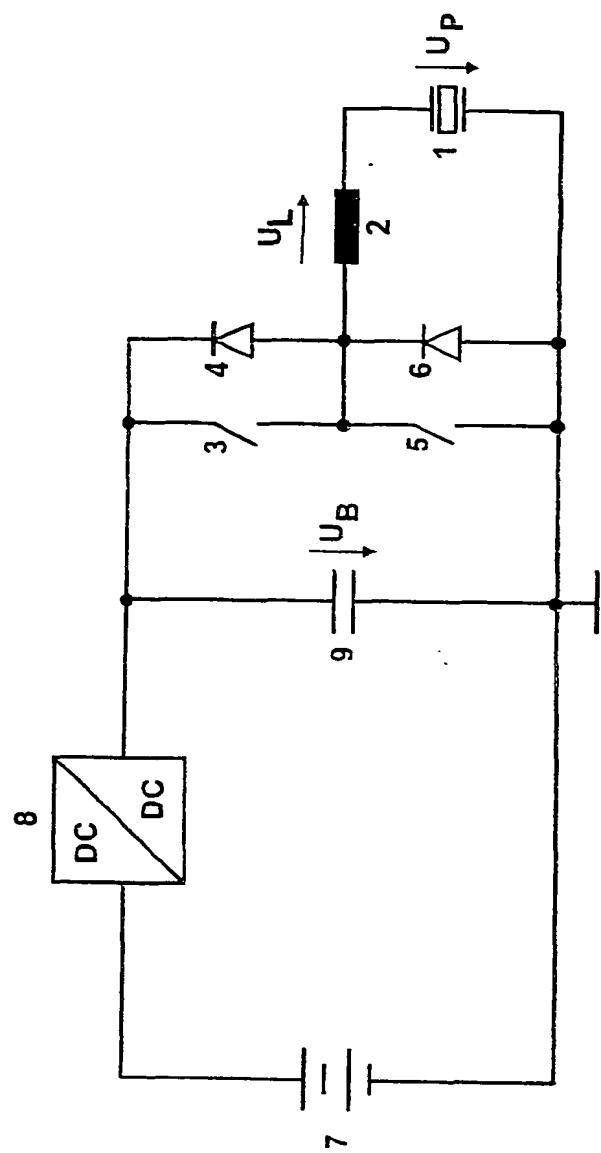


FIG. 5

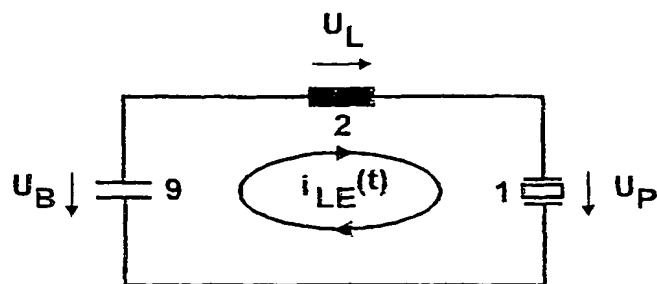


FIG. 6

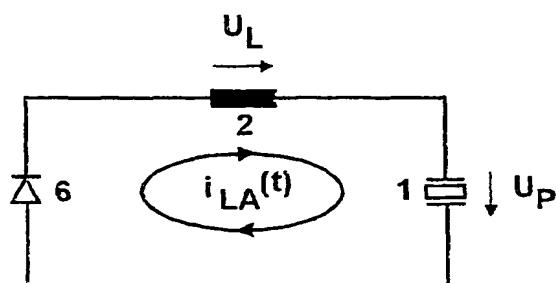


FIG. 7

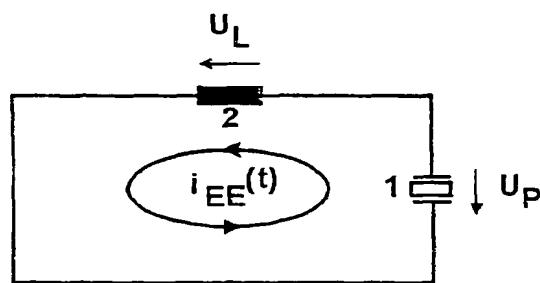


FIG. 8

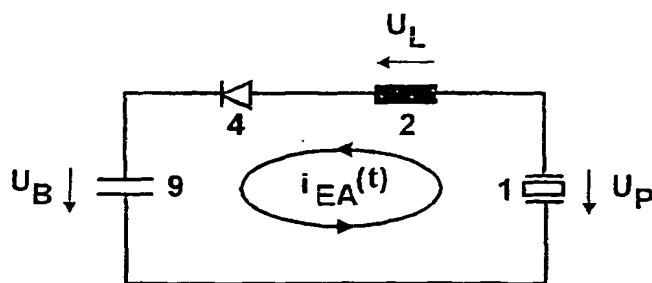


FIG. 9

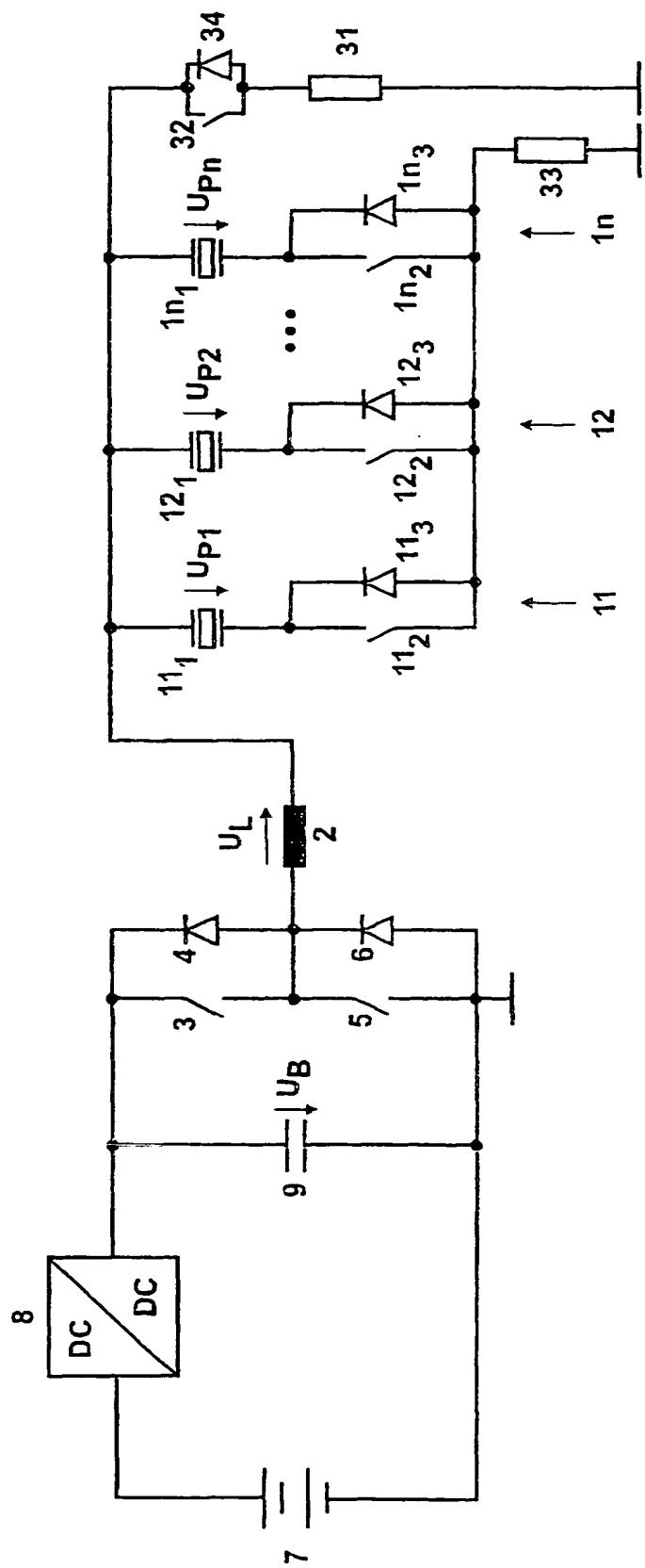


FIG. 10